

Министерство науки и высшего образования РФ  
Правительство города Севастополя  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Федеральный исследовательский центр  
«Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»  
Всероссийское гидробиологическое общество при Российской академии наук  
Русское географическое общество  
Паразитологическое общество при Российской академии наук

# Изучение водных и наземных экосистем: история и современность

Международная научная конференция, посвящённая 150-летию  
Севастопольской биологической станции —  
Института биологии южных морей имени А. О. Ковалевского  
и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий»

Тезисы докладов

13–18 сентября 2021 г.  
Севастополь, Российская Федерация

Севастополь  
ФИЦ ИНБЮМ  
2021

## Ростовые и продукционные характеристики культуры *Tetraselmis viridis* в тепличном бассейне при естественных источниках света и углерода

Жондарева Я. Д.

ФГБУН ФИЦ «Институт морских биологических исследований имени А. О. Ковалевского РАН»,

Севастополь, Россия

[yana.zhondareva@yandex.ru](mailto:yana.zhondareva@yandex.ru)

Микроводоросли рассматриваются как важный природный ресурс, способный обеспечить различные биопродукты для пищевой, нутрицевтической, медицинской, косметической промышленности и аквакультуры. Однако необходимо учитывать экономику процесса их выращивания. Крупномасштабное производство микроводорослей по-прежнему является сложной проблемой, в первую очередь из-за высокой себестоимости биомассы. Дизайн и технология системы культивирования должны разрабатываться с использованием энергоэффективных подходов, чтобы максимизировать объём производства с наименьшими затратами. Этим требованиям удовлетворяет технология выращивания микроводорослей на естественном освещении. Следующий важный момент энергоэффективного подхода — применение недорогого динамического перемешивания культуры для максимального использования углекислого газа из атмосферы и питательных веществ из среды. При таких условиях можно получать культуру высокой плотности, что позволяет использовать бассейны небольшой глубины и объёма при равных освещаемых площадях.

Так как в последние годы стала бурно развиваться аквакультура ценных пород рыб, появилась потребность в пигментах и полиненасыщенных жирных кислотах, которые стимулируют рост и выживаемость личинок рыб, повышают качество конечной продукции. К наиболее перспективным источникам биологически ценных продуктов из микроводорослей относятся морские виды. В качестве одного из объектов, перспективных для промышленного производства и практического использования, можно рассматривать морские одноклеточные водоросли рода *Tetraselmis*.

Таким образом, целью данной работы является экспериментальное обоснование возможности массового культивирования микроводоросли *Tetraselmis viridis* при минимальных технических и технологических затратах производства. В опытах использовали альгологически чистую культуру *Tetraselmis viridis* (Rouchijajnen) R. E. Norris, Hori & Chihara, 1980 — штамм IMBR-25 из ЦКП «Коллекция гидробионтов Мирового океана» ФИЦ ИнБЮМ. Питательную среду готовили на основе пастеризованной черноморской воды с добавлением всех необходимых для роста микроводоросли макро- и микроэлементов:  $\text{NaNO}_3$  —  $1,8 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  —  $0,3 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ ,  $\text{Na}_2\text{EDTA}$  —  $0,037 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ ,  $\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  —  $0,042 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ ,  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  —  $0,008 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ ,  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  —  $0,00625 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ ,  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  —  $0,00183 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$  —  $0,00238 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$ . Для экспериментов использовали неглубокие (до 18 см) бассейны прямоугольной формы размером  $0,5 \times 1 \text{ м}$ , выстеленные полиэтиленовой плёнкой. Перед экспериментом культиваторы стерилизовали ультрафиолетовой лампой в течение 1 часа. Глубина слоя суспензии в опытах поддерживалась на уровне 8 см (объём — 40 л), с ежедневной компенсацией испарившейся воды. В одном из углов бассейна был расположен аквариумный компрессор, который перемешивал суспензию и обеспечивал газообмен с внешней средой.

Фотоавтотрофный рост микроводорослей обеспечивался только естественным освещением. Начало эксперимента было осуществлено в день летнего солнцестояния — 22 июня 2018 г., ко-

гда наблюдается максимальная инсоляция поверхности земли. На протяжении недельного опыта стояли ясные солнечные дни. Измерения на поверхности бассейнов подтвердили, что в течение дня их освещённость в области фотосинтетически активной радиации была близкой к расчётной для г. Севастополя. Основная проблема теплиц — это перегрев культуры при высокой освещённости. Снижение температуры в культуре происходит за счёт активной продувки суспензии воздухом и непринудительной вентиляции самой теплицы. Кроме того, снижение температуры микроводорослевой суспензии предусмотрено теплообменниками в виде шлангов, погруженных в культуру, за счёт прокачки через них воды из моря. В наших опытах температура культуры в дневное время поддерживалась на уровне  $+27...+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что соответствует оптимальному диапазону роста *Tetraselmis viridis*. Контроль роста производился тремя независимыми методами: по изменению оптической плотности культуры, подсчётом концентрации клеток и определением абсолютно сухой массы в единице объёма культуры.

Динамика роста концентрации клеток в экспериментальной культуре *T. viridis* показала, что культура имела устойчивый непрерывный рост в течение первых четырёх суток. За это время концентрация клеток превысила  $1\text{ млн кл.}\cdot\text{мл}^{-1}$ , т. е. увеличилась примерно в 8 раз. После запуска (концентрация  $N_0 = 0,137\text{ млн кл.}\cdot\text{мл}^{-1}$ ) в течение первых четырёх суток ( $t$ ) концентрация клеток ( $N$ , млн кл.·мл<sup>-1</sup>) растёт практически линейно, со скоростью  $P_n = 237\text{ тыс. кл.}\cdot\text{мл}^{-1}\cdot\text{сут}^{-1}$ .

Этот рост хорошо описывается уравнением прямой [Тренкеншу, 2018]:

$$N = N_0 + P_n t = 0,137 + 0,237t; (0 \leq t \leq 4).$$

Аналогичная картина наблюдалась и для динамики оптической плотности культуры в области 750 нм, показывающей устойчивое непрерывное возрастание в течение первых шести суток, причём оптическая плотность за это время увеличилась более чем в десять раз, изменяясь от 0,5 до 6 ед. оп. пл. Сопоставлением измеренных значений удалось обнаружить высокую корреляцию между концентрацией клеток и оптической плотностью культуры для диапазона концентраций от нуля до  $1\text{ млн кл.}\cdot\text{л}^{-1}$ . Найденная связь позволяет недорогим оптическим способом осуществлять непрерывный контроль и управление плотностью культуры при переходе к квазинепрерывному процессу выращивания *T. viridis*.

Накопительная кривая роста биомассы (в сухом виде) представляла собой типичную сигмоидную зависимость. Плотность культуры за 6 суток роста увеличилась примерно в 12 раз и достигла  $0,62\text{ г (АСВ)}\cdot\text{л}^{-1}$ , или  $49\text{ г (АСВ)}\cdot\text{м}^{-2}$ , максимальная продуктивность  $P_t$  составила  $0,18\text{ г (АСВ)}\cdot\text{л}^{-1}\cdot\text{сут}^{-1}$ , или  $14,4\text{ г (АСВ)}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$ . Достигнутая продуктивность сравнима с таковой в аналогичных опытах других авторов, но ниже максимальных значений, полученных в опытах при использовании дополнительных источников углерода [Raes et al., 2014; Fon Sing, 2014]. Можно утверждать, что в наших опытах лимитирующим скорость роста фактором является углеродное обеспечение клеток. Дополнительное увеличение углеродного питания при данных световых условиях может увеличить продуктивность, но повысит себестоимость получаемой биомассы.

Таким образом:

- 1) экспериментально показана возможность интенсивного полупромышленного выращивания черноморской жгутиковой микроводоросли *Tetraselmis viridis*;
- 2) предложена технология культивирования, не требующая больших энергетических и материальных затрат на организацию массового производства, т. к. используются естественные источники света и углерода — солнечный свет и углекислый газ из воздуха;
- 3) зарегистрированы максимальные для данных условий плотность культуры *Tetraselmis viridis* (около  $50\text{ г (сухой массы)}\cdot\text{м}^{-2}$ , или  $88\text{ млрд кл.}\cdot\text{м}^{-2}$ ) и продуктивность  $14,4\text{ г (сухой массы)}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$ , или  $19\text{ млрд кл.}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{сут}^{-1}$ .